

UN MODELO AGROMETEOROLOGICO DE RENDIMIENTOS PARA LA SOJA

A. C. Ravelo (1)

Recibido: 27/10/80

Aceptado: 30/12/80

RESUMEN

Se presenta un modelo de rendimientos para soja (*Glicine max* (L) Merrill) el cual ilustra sobre los efectos que tienen ciertas variables ambientales en los rendimientos del cultivo a través de los distintos subperíodos fenológicos. Se utiliza una técnica de regresión iterativa para analizar las relaciones entre los rendimientos y las variables ambientales.

El modelo requiere observaciones meteorológicas diarias de temperatura máxima y variables derivadas como ser evapotranspiración potencial y el índice de humedad del suelo. El modelo permite analizar la funcionalidad de las relaciones, lineales o cuadráticas, entre cada variable y su contribución a los rendimientos en los distintos subperíodos fenológicos. También es posible analizar las relaciones entre las variables ambientales y los rendimientos de la soja durante todo el ciclo del cultivo y en períodos cortos del tiempo biometeorológico.

SUMMARY

A simulation model for soybean yields is presented, which illustrates the effects of selected environmental variables on yields at different growth stages. An iterative regression technique relates the crop yield and environmental variables. The model requires as input daily climatological data such as maximum temperature and derived agrometeorological variables including potential evapotranspiration and the soil moisture index. The model provides insight into the functional relationships between each variable and its yield contribution, linear or quadratic, at selected crop development periods. An analysis of the relationships between environmental variables and crop yield over the entire growing season and on shorter periods of time was performed.

INTRODUCCION

Entre las distintas facetas de la economía, la agricultura aparece como la única actividad que presenta las más amplias e irregulares fluctuaciones de producción. Dichas fluctuaciones en el volumen de la producción agrícola son causadas principalmente por las condiciones meteorológicas reinantes

durante el desarrollo del cultivo. Existen numerosas investigaciones que documentan el efecto de las condiciones del tiempo sobre la producción agrícola (Chircov, 1969; McQuigg, 1974; Landsberg, 1974; Newman y Richett, 1974).

El presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un modelo de rendimientos para soja (*Glicine max* (L) Merrill) que permita

(1) Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad de Río Cuarto, (5800) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

estimar la contribución diaria de variables ambientales en los rendimientos finales del cultivo. La obtención de pronósticos confiables de rendimientos de un cultivo, basados en el uso de variables ambientales, son de suma utilidad en el ajuste de las condiciones socio-económicas para situaciones de exceso o déficit de producción agrícola. Los Estados Unidos de Norteamérica, la Unión Soviética, la India y Canadá ya poseen modelos de rendimientos para varios cultivos tanto en estado experimental como operativo (Thompson, 1969 y 1970; Ulanova, 1974; Gangopadhyaya y Sarker, 1965; Williams *et al.*, 1975).

El modelo que aquí se presenta fue desarrollado como trabajo de tesis para el doctorado en la Universidad de Missouri-Columbia. Dicho modelo es similar a los propuestos por Robertson (1968) y Baier (1973) y puede definirse como el producto de dos o más funciones. Cada una de estas funciones representa la relación entre una respuesta determinada de la planta, por ejemplo, los rendimientos y la variación de los elementos ambientales en las distintas fases fenológicas del cultivo. Los efectos de las variables no son aditivos como en el caso de una ecuación de regresión lineal múltiple sino que modifican entre sí como elementos factoriales.

MATERIALES

En el desarrollo del modelo de predicción de rendimientos de soja se utilizaron variables ambientales y de cultivo provenientes de 10 localidades de la región central de Estados Unidos de Norte América para el período 1957-1976 (USDA, 1957-76; USDA, current series). Las localidades consideradas se presentan en el cuadro 1.

Variables ambientales

Se utilizaron observaciones diarias de precipitación y temperaturas máxima y mínima, provenientes de las estaciones meteorológicas más cercanas a las parcelas experimentales, en forma directa o bien para esti-

mar variables ambientales de relevancia en la productividad de la soja.

En un modelo de rendimientos con fundamentos fisiológicos, aquellas variables ambientales indicativas de la demanda o disponibilidad de agua para la planta resultan de importancia en el pronóstico de los rendimientos del cultivo; por lo tanto, se efectuaron estimaciones de evapotranspiración potencial diaria mediante la siguiente ecuación (Ravelo, 1978):

$$EP = -5,6715 + 0,1361 \text{ TMAX} + 0,1065 \text{ AT} + 0,0055 \text{ Qo}$$

donde: TMAX es la temperatura máxima diaria en °C, AT es la amplitud térmica diaria en °C, Qo es la radiación solar diaria en el límite de la atmósfera en cal/cm²/día, EP es la evapotranspiración diaria en mm/día.

La humedad del suelo, elemento que ilustra sobre la disponibilidad hídrica del cultivo, fue calculada mediante un balance hidrológico versátil adaptado de Baier y Robertson (1966).

Los coeficientes de ajuste de EP presentados en el cuadro 2, para un cultivo de soja en los distintos subperíodos fenológicos fueron obtenidos mediante comparaciones y ajustes entre la humedad del suelo observada y calculada. La humedad del suelo estimada mediante el balance hidrológico fue utilizada para calcular un índice de humedad de suelo (IHS), definido como el cociente entre el agua útil presente y la máxima cantidad posible de agua útil para ese suelo (Ravelo y Decker, 1979). La Figura 1 ilustra sobre el aceptable ajuste entre valores observados y estimados del índice de humedad del suelo.

Variables del cultivo

Las variables utilizadas fueron: las fechas de siembra, las fechas de los principales eventos fenológicos y los rendimientos provenientes de las parcelas experimentales (Cuadro 1). El tiempo calendario fue previamente utilizado por Runge y Odell (1960)

CUADRO 1: Localidades consideradas en el desarrollo del modelo de rendimientos para soja con sus correspondientes fechas medias de los eventos fenológicos y los rendimientos promedios para 1957-1976.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Nº de años	Siembra	Nacimiento*	F e c h a s		M e d i a s		Maduración*	Rendimiento Promedio (kg/ha)
						Floración*		Llenado Vainas*	Fin Floración*		
Columbia, Missouri	38°49'	92°13'	12	21/5	31/5	4/7		29/7	8/17	10/9	2430
Portageville, Missouri	36°25'	80°42'	6	15/5	23/5	24/6		19/7	13/8	2/9	2350
Mt. Vernon, Missouri	37°04'	93°53'	4	15/5	26/5	22/6		16/7	6/8	1/9	2860
Urbana, Illinois	40°06'	88°14'	7	19/5	30/5	5/7		1/8	12/8	6/9	3170
Carbondale, Illinois	37°44'	89°12'	13	30/5	7/6	8/7		2/8	18/8	10/9	2620
Worthington, Indiana	39°02'	86°57'	16	27/5	5/6	10/7		5/8	16/8	10/9	3070
Evansville, Indiana	38°03'	87°32'	9	25/5	3/6	5/7		1/8	16/8	7/9	3120
Manhattan, Kansas	39°12'	96°35'	13	28/5	6/6	9/7		4/8	26/8	15/9	2650
Columbus, Kansas	37°15'	94°52'	10	5/6	14/6	13/7		6/8	27/8	15/9	1980
Powhattan, Kansas	39°40'	95°31'	10	30/5	8/6	4/7		4/8	21/8	12/9	2550

*Estimada mediante el método de Major *et al.*, (1975).

y por Thompson (1963, 1970) en el análisis de los efectos de las condiciones atmosféricas sobre los rendimientos de soja. En este estudio, el tiempo calendario fue reemplazado por el tiempo biometeorológico (t) definido como el rango de desarrollo del cultivo hacia la madurez (Robertson, 1968; Major *et al*, 1975). Los rendimientos de los cultivos de soja del grupo IV de madurez, el cual es el recomendado para la región analizada, fueron obtenidos al cosechar el surco central de cuatro repeticiones para ensayos llevados a cabo en el período 1957-76. Los cultivos del grupo fueron Cutler 71, Bonus, Kent, Clark y Clark 63. En el desarrollo del modelo fue utilizado el rendimiento promedio del grupo de estos cultivos para un conjunto de 80 años - localidades. Una descripción detallada del experimento se presentó en Ravelo (1978).

DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo de rendimientos para soja tiene la siguiente ecuación básica:

$$Y = \sum_{t=0}^{t=5} V_1 V_2 V_3$$

donde: Y es el rendimiento final del cultivo en kg/ha o variable "dependiente",
 $t=5$

\sum es la suma de los valores diarios $t=0$ de los factores V comenzando en el tiempo biometeorológico t desde 0 (siembra) hasta 5 (maduración),
 V_1 , V_2 y V_3 son las funciones de las variables ambientales.

Las funciones V tienen la siguiente expresión:

$$V_{ij} = (a_{1t_j} + a_{2t_j^2} + a_{3t_j^3} + a_{4t_j^4}) + (a_{5t_j} + a_{6t_j^2} + a_{7t_j^3} + a_{8t_j^4}) X_j + (a_{9t_j} + a_{10t_j^2} + a_{11t_j^3} + a_{12t_j^4}) X_j^2$$

donde: $i = 1, 2$ y 3 , $j = 1, 2, \dots, n$ días,
 a_1, a_2, \dots, a_{12} son los coeficientes de regresión y
 X_j representa cualquiera de las variables ambientales consideradas.

Los coeficientes de regresión son determinados para cada función V a través de una técnica de regresión iterativa (Robertson, 1968). Las variables ambientales pueden ser observaciones meteorológicas o variables derivadas de ellas. En este estudio, las variables consideradas fueron la temperatura máxima

CUADRO 2: Coeficientes utilizados en el balance hidrológico versátil del cultivo de soja.

Subperíodos Fenológicos*	Zonas Edáficas					
	1	2	3	4	5	6
S - N	0,20	0,15	0,15	0,10		
N - F	0,20	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05
F - LV	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05
LV - FF	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,10
FF - M	0,10	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10
Porcentaje del total del agua útil	5,0	7,5	12,5	25,0	25,0	25,0
Espesor de la zona edáfica (cm)	4,81	7,22	11,89	37,61	43,85	46,62
Total del agua útil (cm)	1,10	1,65	2,75	5,49	5,49	5,49

* S: Siembra; N: Nacimiento; F: Floración; LV: Llenado de las vainas; FF: Fin de la floración; M: Maduración.

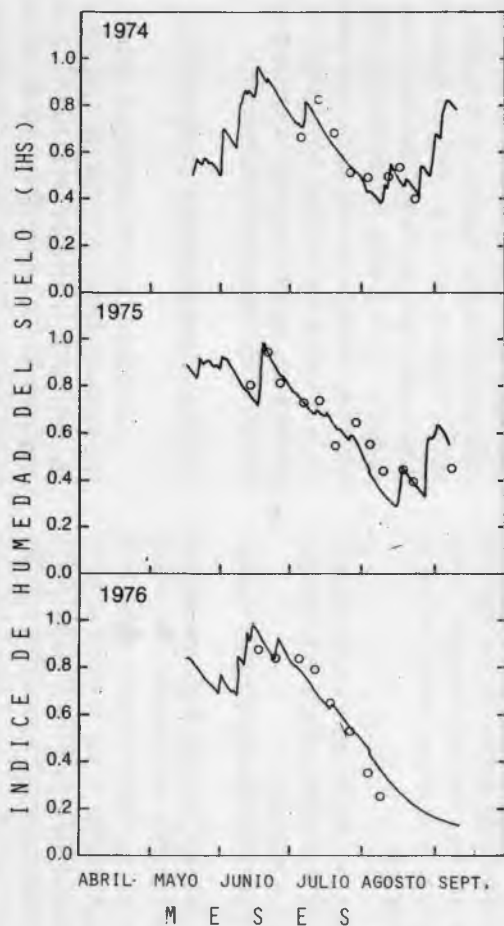


Figura 1: Observaciones (o) y estimaciones (línea) del índice de humedad del suelo para un cultivo de soja en Columbia, Missouri.

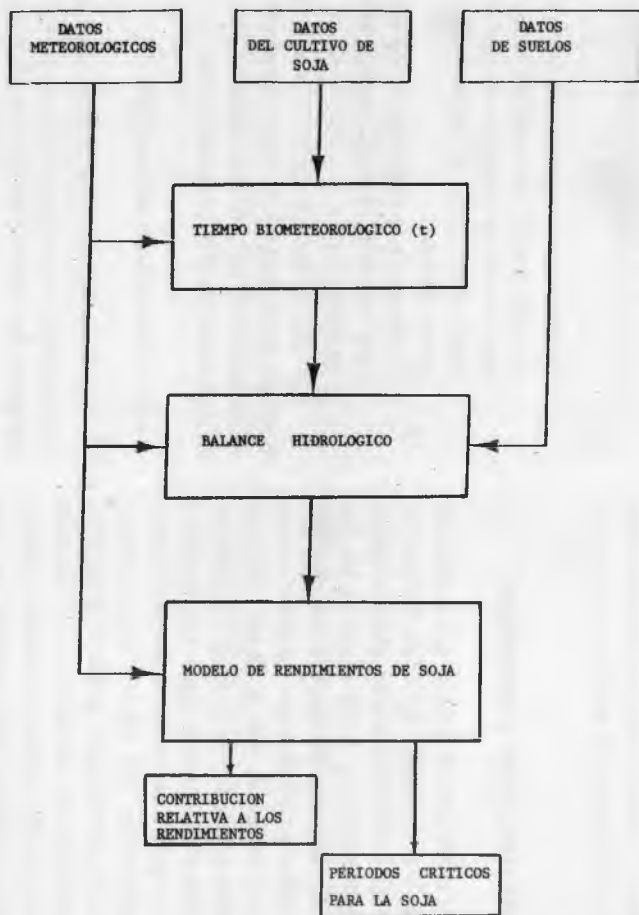


Figura 2: Diagrama de flujos para el modelo de rendimientos de la soja.

diaria y las variables derivadas evapotranspiración potencial diaria y el índice de humedad del suelo. Esta última variable fue calculada para las tres zonas superiores del suelo. La Figura 2 ilustra sobre los distintos componentes del modelo de rendimientos para la soja.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del modelo de rendimientos para soja permiten ilustrar sobre las relaciones funcionales entre las variables ambientales y el rendimiento en los distintos subperíodos fenológicos del cultivo. Estas relaciones funcionales pueden ser lineales o cuadráticas. En la Figura 3 se presentan los resultados de analizar la acción de la temperatura máxima, la evapotranspiración y el índice de humedad del suelo sobre los rendimientos del cultivo durante cinco subperíodos fenológicos desde la siembra a la maduración. Los coeficientes de regresión calculados por la técnica de regresión iterativa fueron utilizados para establecer la contribución relativa al rendimiento del cultivo por las distintas variables. La contribución relativa al rendimiento es definida como la contribución de una variable dada considerando el efecto simultáneo de las otras dos variables en los rendimientos. Los datos utilizados se encontraban dentro de los siguientes rangos:

- 0° a 45°C para la temperatura máxima,
- 0 a 10 milímetros para la evapotranspiración potencial y
- 0 a 1 para el índice de humedad del suelo.

En realidad, las relaciones encontradas entre las variables ambientales y los rendimientos sólo son válidas para los datos utilizados en el cálculo de los coeficientes de regresión. Las relaciones fuera del rango de variabilidad de las variables ambientales se ilustran con líneas discontinuas para indicar que estas partes del análisis son, en el mejor de los casos, sólo extrapolaciones especulativas.

Las unidades en el eje de las ordenadas no fueron uniformadas, por lo tanto, los gráficos no son comparables para las distintas variables o subperíodos fenológicos.

A partir de la Figura 3 se puede establecer:

1. Si existe o no un rango mas favorable en cada una de las variables ambientales y en los distintos subperíodos fenológicos para la producción de granos en soja.
2. El efecto de la variación de las variables ambientales en los rendimientos de la soja.

Los principales aspectos de la relación entre los rendimientos de soja y las variables ambientales en los distintos subperíodos fenológicos que podrían destacarse son:

Variable temperatura máxima (MAX)

Se encontró para esta variable una función cuadrática o no lineal. Thompson (1970) encontró una función similar entre la temperatura media de mayo, junio, julio y agosto y la producción de soja en el centro de Estados Unidos de Norteamérica. La variable temperatura máxima presenta valores óptimos entre 36 y 38°C en los subperíodos comprendidos entre siembra y floración y valores óptimos de 22 a 28°C en aquellos subperíodos que van desde floración a maduración. A los fines de la contribución relativa a los rendimientos del cultivo por parte de la temperatura máxima, los procesos reproductivos parecen requerir temperaturas mas bajas que los procesos vegetativos.

Variable evapotranspiración potencial (EP)

Se observó que esta variable se halla relacionada negativamente con los rendimientos. En todos los subperíodos existe un incremento en la contribución diaria de los rendimientos a medida que la evapotranspiración potencial decrece en magnitud. Valores elevados de EP podrán ser asociados con

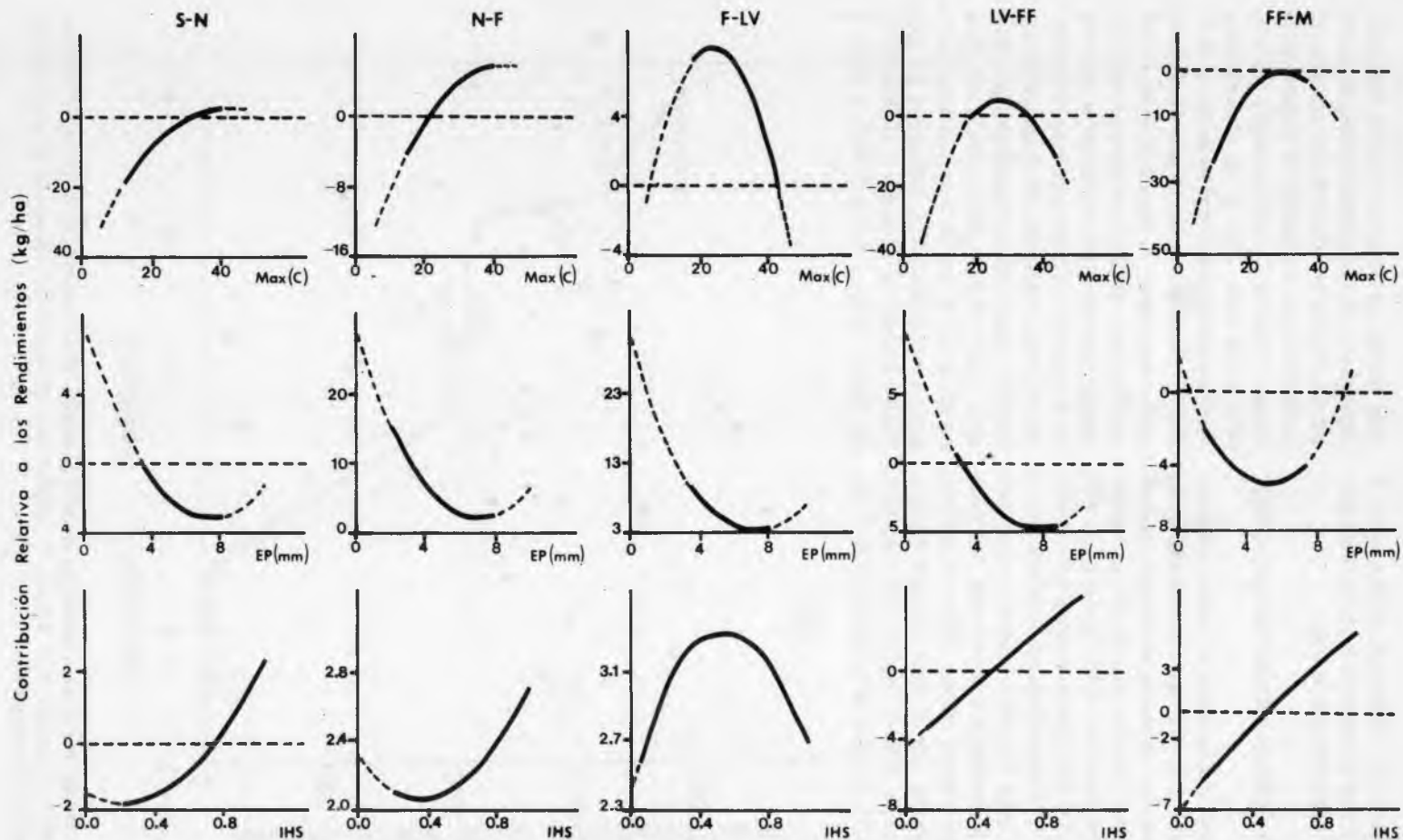


Figura 3: Contribución relativa a los rendimientos de la soja por las variables temperatura máxima (Max), evapotranspiración potencial (EP) y el índice de humedad del suelo (IHS) durante distintos subperíodos del cultivo. S: siembra, N: nacimiento, F: floración, LV: llenado de las vainas, FF: fin de la floración, M: maduración.

situaciones de deficiencia hídrica para la planta y por lo tanto con una disminución en los rendimientos de la soja.

Variable índice de humedad del suelo (IHS)

Existe una correlación positiva entre esta variable y la contribución al rendimiento en todos los subperíodos excepto para el subperíodo floración-llenado de las vainas. En este subperíodo, el IHS presenta un valor óptimo de 0,50, produciéndose un decrecimiento de los rendimientos a medida que el IHS se aleja del valor indicado. Apparently the abundance of soil moisture has the same depressive effects on yields as the lack of edaphic water. Brady *et al.*, (1974) encontraron que cierta deficiencia de agua al comienzo de la flora-

ción puede prevenir un excesivo desarrollo vegetativo y el consecuente encamado de las plantas, lográndose mejores rendimientos. El subperíodo que comprende el llenado de las vainas a fin de la floración presenta una relación lineal entre IHS y los rendimientos. Contribuciones positivas al rendimiento de la soja se observaron para valores del IHS de 0,50 o superiores. El valor de 0,50 en el IHS aparece como crítico en este subperíodo. Investigaciones de otros autores sobre el efecto de la humedad del suelo sobre los rendimientos de la soja coinciden con estos resultados. Estudios estadísticos desarrollados por Runge y Odell (1960) sobre el efecto del clima en los rendimientos de la soja indican que la mayor sensibilidad a la deficiencia de agua ocurre durante la floración y el llenado de las vainas. Shaw y Laing (1965) y Sionit y

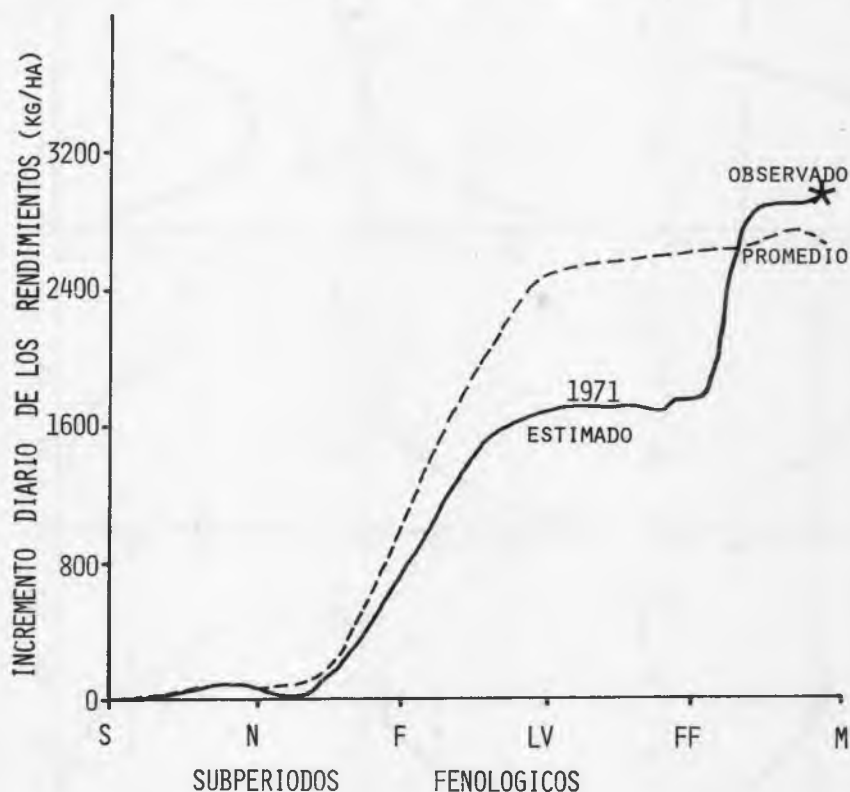


Figura 4: Incremento en los rendimientos de soja (promedio y 1971) en Columbia, Missouri, en los distintos subperíodos fenológicos (S: siembra; N: nacimiento; F: floración; LV: llenado de las vainas; FF: fin de la floración; M: maduración).

Kramer (1977) encontraron que el número de vainas se reducía substancialmente cuando se producía una deficiencia hídrica durante la floración. Cuando la deficiencia de agua ocurría durante el llenado de las vainas, el número de vainas se reducía algo pero el número de semillas por vainas y el tamaño de las semillas sufrían la mayor reducción. Doss *et al.* (1974) encontraron una mayor respuesta al riego por parte de la soja cuando la aplicación del mismo se efectuaba luego de plena floración que cuando se aplica-

ba con anterioridad. Además, el subperíodo llenado de las vainas apareció como el más crítico para la humedad del suelo en la obtención de mejores rendimientos.

La contribución diaria de las variables ambientales al rendimiento del cultivo puede ser evaluada utilizando los coeficientes provenientes de la regresión iterativa. En la Figura 4 se presenta la predicción diaria de los rendimientos para el año 1971 en Columbia, Missouri, así como el rendimiento promedio que resulta de utilizar valores me-

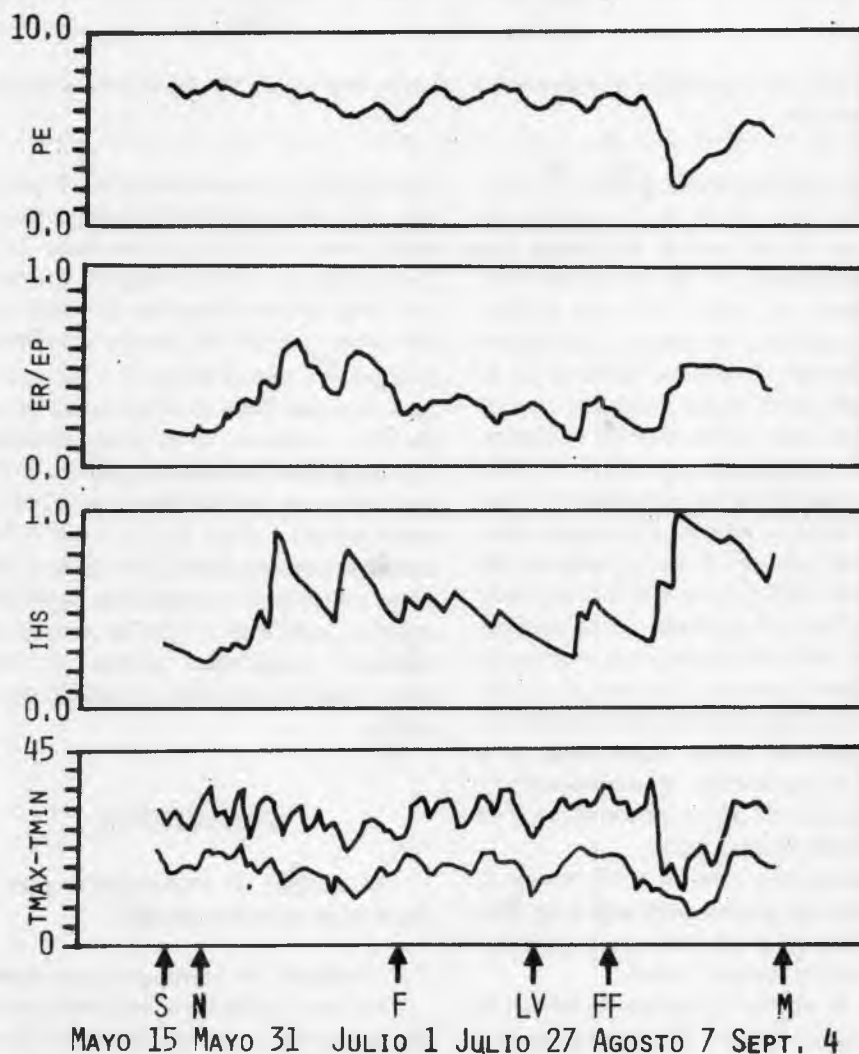


Figura 5: Variación diaria de la temperatura máxima (TMAX), la temperatura mínima (TMIN), el índice de humedad del suelo (IHS), el cociente de la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial (ER/EP) y la evapotranspiración potencial (EP) en Columbia, Missouri en 1971. Se señalan los distintos subperíodos fenológicos como en la Figura 4.

CUADRO 3: Coeficientes de determinación (CD) y error estándar de estimación (ESE) para diferentes tiempos biometeorológicos (t).

Subperíodos Fenológicos*	Rangos de t	CD	ESE (kg/ha)
N-F a LV	1,5 a 3,0	0,37	459,2
F a FF	2,0 a 4,0	0,41	445,3
LV-FF a M	3,5 a 5,0	0,65	319,7
F-LV a M	2,5 a 5,0	0,75	278,6
S a M	0,0 a 5,0	0,75	284,7

* S: Siembra; N: Nacimiento; F: Floración; LV: Llenado de las vainas; FF: Fin de la floración; M: Maduración.

dios de 80 años-localidades. Desde la siembra hasta el fin de la floración, las condiciones ambientales fueron menos favorables para los rendimientos de la soja que las condiciones promedio. A partir del fin de la floración se comienzan a observar condiciones ambientales mas favorables. Hacia el 14 de agosto, los rendimientos estimados eran de 1120 kg/ha, muy inferiores a los correspondientes al rendimiento promedio de 2655 kg/ha para ese subperíodo fenológico. A partir de tal fecha se produce una mayor disponibilidad de agua en el suelo, indicada por un valor del IHS cercano a la unidad (véase Figura 5), esto acompañado de una disminución en la temperatura máxima y la evapotranspiración potencial produce un rápido incremento en la acumulación diaria de los rendimientos del cultivo. Hacia fines de la estación de crecimiento, el rendimiento estimado es de 2903 kg/ha, muy cercano al valor observado de 2932 kg/ha.

La evaluación estadística del modelo de rendimiento propuesto para soja a los fines de la predicción de rendimientos es presentada en Ravelo y Decker (1980).

Con el objeto de analizar el efecto de una escala de tiempo biometeorológico (t) menor en la predicción de los rendimientos, el modelo fue usado con cuatro tiempos biometeorológicos diferentes. Por ejemplo, para t en el rango de 1,5 a 3,0, las variables am-

bientales fueron usadas sólo para el período que va desde la mitad de la emergencia a floración hasta el llenado de las vainas. El mayor coeficiente de determinación y el menor error estándar de estimación obtenido en los diferentes períodos de tiempo considerados se logró con t en el rango 2,5 a 5,0, es decir, para el período que va desde mitad del subperíodo comienzo de floración-llenado de las vainas hasta maduración, cuadro 3. Estos resultados son muy similares a aquellos obtenidos usando t entre 0 y 5, donde el coeficiente de determinación fue el mismo. Por lo tanto y a los fines de predicción de los rendimientos, pareciera ser que las variables ambientales consideradas poseen un mayor efecto desde la floración a la maduración del cultivo.

CONCLUSIONES

El modelo de rendimientos para soja que aquí se presenta permite:

1. - Establecer las relaciones funcionales, lineales o cuadráticas, entre tres variables ambientales y los rendimientos del cultivo en los distintos subperíodos fenológicos.
2. - Identificar los períodos críticos para la producción de granos de la soja.

3. - Pronosticar los rendimientos de soja y analizar su variabilidad durante el ciclo del cultivo debido al efecto de las variables ambientales consideradas.
4. - Analizar las relaciones entre las variables ambientales y el rendimiento del cultivo para períodos cortos del tiempo biometeorológico.

Debe destacarse que las relaciones funcionales entre las variables ambientales y la respectiva contribución relativa a los rendimientos de la soja son válidos para los cultivos estudiados (Grupo IV de maduración) y para las condiciones ambientales del área considerada (Región central de EE.UU.).

BIBLIOGRAFIA

- 1) Baier, W., 1973. Crop-Weather Analysis Model: Review and Model development. *J. Applied Meteor.*, 12(6): 937-947.
- 2) Baier, W. and G.W. Robertson, 1966. A new versatile soil moisture budget. *Can. J. Plant Sci.*, 46: 299-311.
- 3) Brady, R.A., W.L. Powers, L.R. Stone and S. M. Goltz, 1974. Relation of soybean leaf water potential to soil water potential. *Agron. J.*, 66: 795-798.
- 4) Chircov, I.I., 1969. Agrometeorological conditions and maize yields. L. Gidrometeoizdat. 251 pags.
- 5) Doss, B.D., R.W. Pearson and H.T. Rogers, 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yields. *Agron. J.*, 66: 297-299.
- 6) Gangopadhyaya, M. and R.P. Sarker, 1965. Influence of rainfall distribution on the yield of wheat crop. *Agr. Meteor.*, 2: 331-350.
- 7) Major, D.R., D.R. Johnson, J.W. Tanner and C.I. Anderson, 1975. Effects of daylengths and temperatures on soybean development. *Crop. Sci.*, 15(2): 174-179.
- 8) Landsberg, H.E., 1974. Hearings on World Food Supply. *Bull. American Meteor. Soc.*, 55: 1135-1136.
- 9) McQuigg, J. D., 1974. World food production in relation to fluctuations in weather and climate. *Report of C.Ag.M.-WMO/Doc 32*. Washington D.C.
- 10) Newman, J.E. and R.C. Rickett, 1974. World climates and food supply variations. *Science*, 186: 877-881.
- 11) Ravelo, A.C., 1978. Modelling soybean yields from environmental data. Tesis de doctorado en Meteorología Agrícola, Universidad de Missouri-Columbia.
- 12) Ravelo, A.C. and W.L. Decker, 1979. The probability distribution of a soil moisture index. *Agric. Meteor.*, 20: 301-312.
- 13) Ravelo, A.C. and W.L. Decker, 1980. An iterative regression technique for estimating soybean yields from environmental data. Enviado a *J. Applied Meteor.*
- 14) Robertson, G.W., 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. *J. Biometeor.*, 12(3): 191-223.
- 15) Runge, E.C.A. and R.T. Odell, 1960. The relation between precipitation, temperature, and yield of soybean on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agron. J.* 52(5): 245-247.
- 16) Shaw, R.H. and R. Laing, 1966. Moisture stress and plant response. En: Plant environment and efficient water use. W.H. Pierre (editor), pag. 73-94, *Amer.Soc. of Agronomy*, Madison, Wisconsin.
- 17) Sionit, N. and P.J. Kramer, 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agron. J.* 69: 274-278.
- 18) Thompson, L.M., 1963. Weather and technology in the production of corn and soybeans. *C.A.E.D. Report 17*, Iowa State University, Center for Agriculture and Economic Development.
- 19) Thompson, L.M., 1969. Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. *Agron. J.* 61:453-456.
- 20) Thompson, L.M., 1970. Weather and technology in the production of soybean in the central United States. *Agron. J.* 62: 232-236.
- 21) Ulanova, E.S., 1974. Methods for forecasting grain crop yields. Report of C.Ag.M. Rapporteur on Changes on Weather and Climate as related to World food production. *WMO, CAgM VI/Doc 32*, Washington D.C.
- 22) USDA, 1957-76. The Uniform Soybean Test Northern States. Agricultural Res. Services, U.S. Region. Soybean Lab., Urbana, Illinois.
- 23) USDA, Current Series. Soil Survey Interpretation Form 5. Soil Cons. Service, Midwest Regional Tech. Center, Lincoln, Nebraska.
- 24) Williams, G.D.V., M.I. Joynt and P.A. McCormick, 1975. Regression analysis of the Canadian Prairie Crop District cereal yields 1961-1972 in relation to weather, soil and trend. *Can. J. Soil Sci.* 55: 43-53.